

芸術系技能を必要とする IT 作業を考慮した プログラミング教育のモチベーションの解析[†]

Analysis of the Motivation in the Programming Education for the Students Who Perform IT Work that Requires Artistic Skills

塚本 英 邦*
Hidekuni Tsukamoto

南 雲 秀 雄**
Hideo Nagumo

武 村 泰 宏*
Yasuhiro Takemura

芸術系技能を必要とする IT 作業において、作業環境を充実させて効率的な制作活動を展開するには、プログラミング教育が効果的であると考えられる。そして、知識の運用を必要とするプログラミング教育においては学習者自身のモチベーションが重要である。本研究では、効果的なプログラミング教育を行うためにプログラミング教育のモチベーションの変化を、ARCS 動機付けモデルを用いて分析した。さらに、ARCS 動機付けモデルの因子の下位カテゴリーに着目し、その遷移と遷移の要因を解析した。下位カテゴリーの遷移要因の解析では、ARCS 動機付けモデルの一つの因子に属する 3 つの下位カテゴリーを 3D バブルグラフの 3 軸に対応させて描画する手法も提案した。本提案手法は、一つの因子の下位カテゴリー間の関係や、学習フェーズの進行による遷移要因の総合的な把握に適用できる可能性があると考えられる。

キーワード：プログラミング教育，Processing，ARCS 動機付けモデル，モチベーション，3D バブルグラフ

1. はじめに

近年の情報技術の進展により、多様な分野でコンピュータが活用され、絵画、キャラクター、デザインなどの制作にもコンピュータが用いられ、芸術系技能を必要とする IT 作業が増える傾向にある。しかしながら、芸術系技能の習得過程にある学生の関心事は、社会の趣向傾向、テーマ、素材、高機能な描画ツールなどにあり、素材の成分・特性、描画ツールの仕組みなどに関する情報技術はブラックボックスのように扱われる傾向がある。

芸術系技能を必要とする IT 作業の場面において、作業環境を充実させて効率的な制作活動を展開するには、コンピュータ本体、コンピュータ・アプリケーションの仕組み、その汎用的な利用方法、アルゴリズムなどの習得はとても有効である。そこで、これら要素技術の基礎的な理解の促進にはプログラミング教育が効果的であると考えられる。

このような状況に鑑み、大阪芸術大学においても 2006 年度より Processing¹⁾ を用いたプログラミング教育を実践している。知識の運用を必要とする能動的なプログラミング教育においては学習者自身のモチベーションが重要であるが²⁾、芸術系領域のプログラミング教育に関するモチベーションの調査が少ない状況にある。

Processing プログラミング環境を用いた数式表現図形のプログラミング教育を、これまで国内と海外の芸術系領域の学部において実践してきた。そして、J. M. Keller によって開発された ARCS 動機付けモデル³⁾ (以下、ARCS モデルと呼ぶ) を背景理論として土肥らによって開発された SIEM アセスメント尺度⁴⁾ を用いたアンケートによってモチベーション・レベルを測定した。さらに、モチベーション・レベルとその評価項目の関連を関連構造グラフによって解析し、プログラミング学習におけるモチベーションの国際比較も行ってきた^{4)~6)}。その結果、学習フェーズの進行によるモチベーションの遷移を、モチベーションを構成する因子間の関係によって説明できることを明らかにした。しかしながら、改善が必要な SIEM アセスメント尺度の項目が抽出された場合、その項目に対応した汎用的な改善方法を見出すことが難しかった。

本研究では、効果的なプログラミング教育を行うため

(200■年■月■日受付，200■年■月■日受理)

* 大阪芸術大学芸術学部

** 新潟青陵大学看護福祉心理学部

† 2008 年 8 月本学会第 51 回全国大会 (仙台) にて発表

の一方法として、プログラミング教育のモチベーションの変化を、ARCS モデルを用いて分析する。さらに、ARCS モデルの主要な因子を構成する下位カテゴリーに着目し、その遷移と遷移の要因を解析する。

2. Processing によるプログラミング教育

Processing は、芸術系領域のプログラミング教育を対象として、C. Reas と B. Fry⁷⁾ によって開発されたプログラミング環境である。本プログラミング環境では、比較的単純なソースコードによって2Dや3Dの美しい作品を制作することができる。学習者は、本プログラミング環境によって制作した視覚的な作品を閲覧し、そのソースコードを教授者の説明によって学習・理解して作品を制作することで、プログラミング学習に対する学習者自身のモチベーションが高まると考えられる。

大阪芸術大学芸術学部において、Processing プログラミング環境で数式表現図形を制作するプログラミング教育の授業を実践した。本プログラミング教育では、1 授業時間が 90 分の授業を 6 回（2 回／週）行い、履修者は 56 名であった。教育項目と教材は、学習者のモチベーションを高められるように ARCS モデルを参照して作成した。本プログラミング教育の教育項目と授業回数を表 1 に示す。学習者は、それぞれの授業における教育項目の説明の後、プログラミング教材を参考にし、教育項目で取り上げた関数を用いて作品を制作して提出する。例えば、第 1 回目の授業では教育項目の説明の後、point, line, rect, ellipse, triangle などの基本関数を用いてソースコードが 15-20 LOC（Line of Code: コード行数）程度の作品を制作する。Processing によるプログラミング環境を図 1 に、第 1, 4 回目の授業における Processing の教育項目を用いた作品例を図 2 に示す。

表 1 プログラミングの教育項目

授業回数	教育項目	授業回数	教育項目
1	Processingの仕組み Processingの操作方法 変数と基本関数による描画	3	静止画の表示 アニメーションのアルゴリズム
		4	マウス入力 ベジェ曲線の描画
2	繰り返し処理 条件分岐 2D図形の制作	5	フラクタル図形の描画 アニメーションの制作
		6	作品制作とまとめ
3	3D図形の関数と描画		

近年、多くの芸術活動や芸術系技能を必要とする作業においてコンピュータを使用する。これら作業をする人

たちが作品制作で使用するアプリケーションのメカニズムやデータ構造を理解できれば、制作のための情報環境を改善して制作行程をより効率的にすることが可能になると考えられる。また、Processing や Design By Numbers^{8) ~ 9)} のように、芸術活動における作品をソースコードから直接生成できるプログラミング環境がすでに構築されている。このような状況から、芸術系領域においてもプログラミング教育は重要であると考えられる。また、芸術系領域における学習者が、プログラミングの学習をしなければ、芸術活動の重要な手段の一つを逃すことになると考えられる¹⁰⁾。

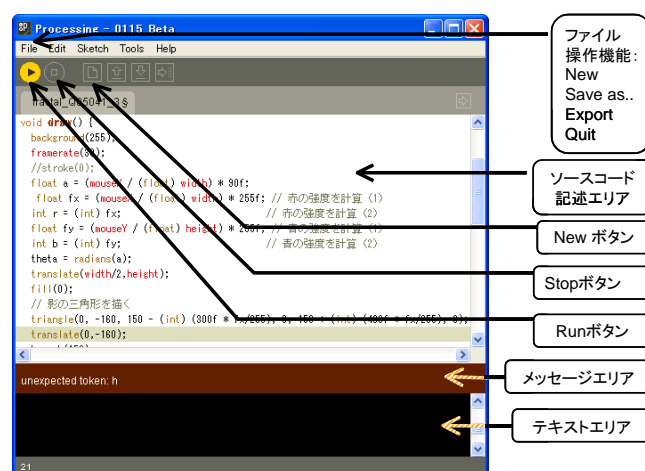


図 1 Processing のプログラミング環境

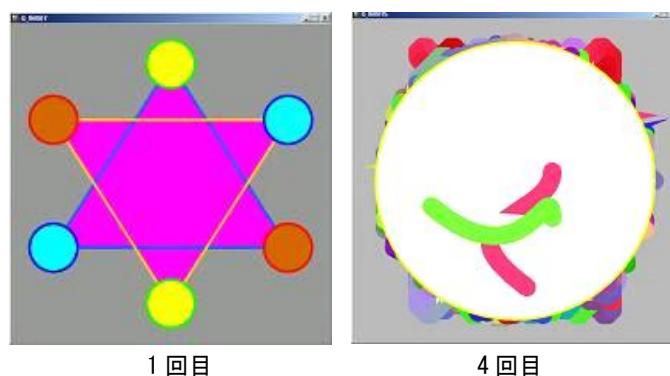


図 2 Processing の教育項目を用いた作品例
(4 回目の作品はベジェ曲線のアニメーションで描画)

3. ARCS モデルに基づいたアンケートの概要

ARCS モデルでは、注意（Attention）、関連性（Relevance）、自信（Confidence）、満足感（Satisfaction）の 4 つの主要なモチベーション因子（以下、因子と呼ぶ）が仮定され、それぞれの因子には 3

つの下位カテゴリーが設定されている。ARCS モデルの 4 因子とそれに属する下位カテゴリーを表 2 に示す。

本アンケートは、表 2 の 12 の下位カテゴリーに対応させて作成した（以下、本アンケートを ARCS アンケートと呼ぶ）。ARCS アンケート項目を表 3 に示す。アンケートの質問項目は、ARCS モデルにおける 12 の下位カテゴリーに対し、ARCS 動機づけモデルの要因下位分類の解説用語³⁾を基にそれが充足されているかを尋ねている。表 3 では、それぞれの因子ごとに下位カテゴリーの質問が示されているが、実際のアンケートでは質問項目の提示順序が偏らないように分離した。本アンケートの質問内容は、出力結果が数式表現図形であるため“出力結果”を“美しさ”、“プログラム”を“作品”として表示することで、Processing を用いたプログラミング教育に対応させている。プログラムの適切性や動作をプログラム結果として評価すれば、一般的なプログラミング教育にも適用が可能であると考えられる。

質問への回答には、次の 5 段階のリッカートスケールを使用し、モチベーションの高さを示すスコアを次の

回答番号に対応させている。

- 1：まったくそう思わない 2：あまりそう思わない
3：どちらともいえない 4：ややそう思う
5：強くそう思う

ARCS アンケート項目の信頼性は、Cronbach の α 係数を用いて評価した^{11)~12)}。その結果、それぞれの学習フェーズ及び全ての学習フェーズのアンケートにおいて、 α 係数が 0.83, 0.84, 0.88, 0.82 であったので、その信頼性が確認できた。また、SIEM アセスメント尺度と ARCS アンケートを併用したモチベーションの解析によって本アンケートの評価を行っている^{13)~15)}。ARCS モデルを基にした調査・研究においても類似的な内容のアンケートが用いられている¹⁶⁾。学習者は、教育項目で取り上げた関数を用いて制作するため、授業ごとに制作した作品を評価できる。また、作品の提出順にコメントを添えて学習者全員に作品を提示した。これらから本アンケート項目は、学習フェーズの初期、中期、終期を通して使用できる設問であると考えられる。

表 2 ARCS モデルの主要な因子と下位カテゴリー

ARCSモデル の4因子	ARCSモデルの動機づけ設計の下位カテゴリー
注意： Attention	A-1 知覚的喚起：Perceptual arousal A-2 探究心の喚起：Inquiry arousal A-3 変化性：Variability
関連性： Relevance	R-1 親しみ易さ：Familiarity R-2 目的指向性：Goal orientation R-3 動機との一致：Motive matching
自信： Confidence	C-1 学習要求：Learning Requirements C-2 成功の機会：Success opportunities C-3 コントロールの個人化：Personal control
満足感： Satisfaction	S-1 自然の結果：Natural consequences S-2 肯定的な結果：Positive consequences S-3 公平さ：Equity

4. 実験結果の統計的分析

ARCS モデルにおいて 4 つの主要な因子が仮定されており、これら因子に属する下位カテゴリーの関連による影響に関しては言及されていない。下位カテゴリーは、動機づけの心理学的研究や実践の知見を基に主要な因子から導出されていることから、一つの因子における幾つかの下位カテゴリーに関連性があると考えられる。モチベーションの遷移を解析する方法として、これら因子ごと下位カテゴリーの遷移要因を分析することが考えられる。本稿では、ARCS モデルが ARCS アンケートの背景理論となっていることから、学習フェーズの進行によるモチベーションの変化を詳細に分析するため、

表 3 ARCS モデルに基づいたアンケート項目

アンケート項目	質問内容
注意： Attention	A-1 プログラムの学習中に美しさが新規で驚きのある刺激を与えましたか？ A-2 プログラムの学習中にもっと知りたいと思いましたか？ A-3 学習内容に変化があり、飽きることなく学習できましたか？
関連性： Relevance	R-1 学習内容は親しみやすいと感じましたか？ R-2 学習の目標とその重要性を理解しましたか？ R-3 自分の好みに合った学習方法を選択する機会がありましたか？
自信： Confidence	C-1 自分の到達すべき目標がはっきりしていますか？ C-2 良い作品ができたと感じることがありましたか？ C-3 良い作品ができたのは自分自身の能力や頑張りのためだという実感がありましたか？
満足感： Satisfaction	S-1 新しく習得した知識や技能を応用する機会がありましたか？ S-2 良い作品ができたとき、嬉しいと感じることができましたか？ S-3 やり遂げたことに対して、一貫した基準で適正に評価がなされましたか？

ARCS モデルにおけるそれぞれの因子に属する下位カテゴリーの遷移に着目して分析した。

4.1 ARCS アンケートにおける因子の分析

アンケートは、本授業期間の初期（1回目の授業終了時）、中期（4回目の授業終了時）、終期（6回目の授業終了時）の3つの学習フェーズで実施した。初期のアンケートでは、学習者が教育項目の説明を理解した後、point, line, rect, ellipse, triangleの基本関数によって制作した作品の提出後にアンケートに答える。中期、終期においても学習者は同様にアンケートに答える。アンケートに回答した学習者数は、初期36名、中期34名、終期28名で、これら学習者の中で3回のアンケート全てに回答したのは21名である。本稿では、この21名のアンケートを解析の対象にした。

3つの学習フェーズにおける4因子のスコアの推移を図3に示す。一つの学習フェーズにおける一つの因子のスコアは、その因子に属する3つの下位カテゴリーにおけるスコアの平均値として算出した。

図3によると学習フェーズの進行に伴い、“注意”因子のスコアが減少、“満足感”因子のスコアに増加の傾向が見られたが、“関連性”因子と“自信”因子のスコアに関しては一貫した変化が見られない。これらの因子の遷移状態を詳細に分析するため、学習フェーズ間におけるスコアのt検定を行った。その結果を表4に示す。

t分布パーセント表において、自由度20で有意水準5%のパーセント点が1.725である¹⁷⁾。表4において全ての値が1.725未満なので、学習フェーズの進行による有意な差が見られない。

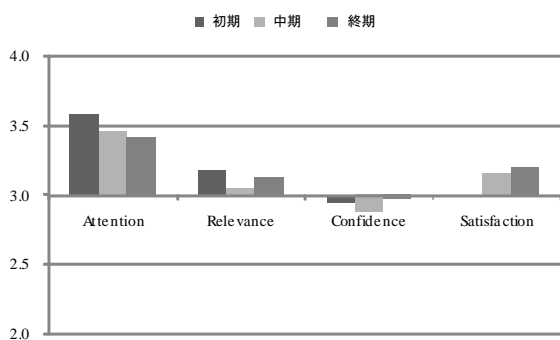


図3 ARSCモデルの主要な因子の推移

表4 主要な因子の推移のt検定

	注意: Attention	関連性: Relevance	自信: Confidence	満足感: Satisfaction
初期から中期	0.61	0.59	0.3	0.74
中期から終期	0.22	0.45	0.45	0.19
初期から終期	0.86	0.27	0.14	0.84

$t_{20}(0.05) = 1.725$

4.2 ARCS アンケートにおける下位カテゴリーの分析

ARCSモデルの4因子におけるスコアの分析では、有意な差異が見られなかったため、各因子における下位カテゴリーのスコアの推移に着目した。それぞれの学習フェーズにおける下位カテゴリーの推移を図4に示す。本図において、一つの学習フェーズにおける一つの因子のスコアは、学習者21名の平均値として算出している。

図4の各因子における複数の下位カテゴリーにおいて顕著な増減傾向が見られる。これを詳細に分析するため、学習フェーズ間におけるスコアのt検定を行った。その結果を表5に示す。図4および表5から、学習フェーズの進行による下位カテゴリーのスコアの遷移を下記①～⑤のように考察する。

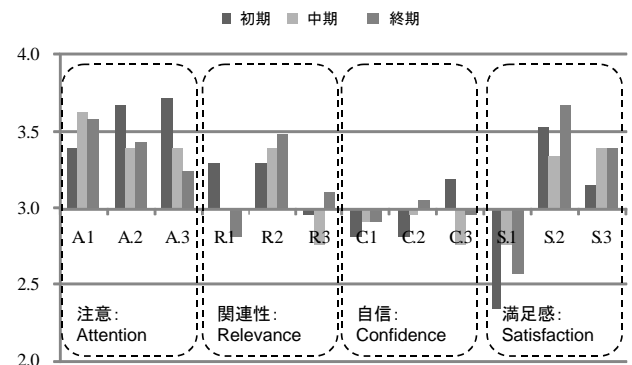


図4 ARSCモデルの下位カテゴリーの推移

表5 学習フェーズ間における下位カテゴリーの推移の検定

	注意: Attention			関連性: Relevance		
	A-1	A-2	A-3	R-1	R-2	R-3
初期から中期	1.16	1.30	1.78	1.30	0.44	0.89
中期から終期	0.20	0.20	0.72	1.28	0.46	2.09
	自信: Confidence			満足感: Satisfaction		
	C-1	C-2	C-3	S-1	S-2	S-3
初期から中期	0.53	0.72	1.75	1.57	0.94	1.75
中期から終期	0.00	0.38	0.94	0.72	1.20	0.00

$t_{20}(0.05) = 1.725$

① 学習フェーズ初期から中期の“注意”因子

下位カテゴリーA3（変化性）に有意な差が生じている。また図4においても、下位カテゴリーA3のスコアは学習フェーズの進行に伴って減少している。この傾向より次のような事項が考察される。プログラミングといった今までとは異なる制作ツールを用いた学習環境であったため、下位カテゴリーA3（変化性）を減少させる要因の一つになったと考えられる。

② 学習フェーズ中期から後期の“関連性”因子

下位カテゴリーR3（動機との一致）に有意な差が生じている。図4においても、この下位カテゴリーのスコアは中期から終期への学習フェーズの進行に伴って増加している。この結果から、学習者はプログラミング学習においても、学習フェーズの進行に伴って修得した知識・技術を基にし、学習者自身の好みに適合した学習を展開できるようになってくると考えられる。

③ 学習フェーズ初期から中期の“自信”因子

下位カテゴリーC3（コントロールの個人化）が減少して有意な差が生じている。この要因の一つとし、プログラミング教材による作品の制作において、学習者が芸術的な発想の適用方法が分からなかった事によると考えられる。

④ 学習フェーズ初期から中期の“満足感”因子

下位カテゴリーS3（公平さ）が増加して有意な差が生じている。この要因は、教授者が過去に本プログラミング教育の経験があるため、学習者の理解できないコマンドなどが把握できていた。そのため、学習者の理解状態に応じた補足説明をしながら、プログラミング学習への励ましを行っていた事によると考えられる。一方、下位カテゴリーS1（自然の結果）では有意な差が生じていないが、スコアが低い傾向にある。これは、本稿における学習者の学習活動の主な目的が芸術作品の制作にあるため、プログラミング技術を適用する授業が少なかったことがこのような傾向になったと考えられる。

⑤ 学習フェーズ初期から中期、中期から終期における傾向の考察

初期から中期の学習フェーズにおける“注意”因子に属する下位カテゴリーA3（変化性），“自信”因子に属する下位カテゴリーC3（コントロールの個人化）および“満足感”因子に属する下位カテゴリーS3（公平さ）に有意な差が生じている。これより、3つの因子の下位カテゴリーに有意な差が生じていることになる。一方、中期から後期の学習フェーズにおいては、“関連性”因子に属する下位カテゴリーR3（動機との一致）だけに有意な差が生じている。したがって、本稿のプログラミング教育におけるモチベーションの変化は、学習フェーズ初期から中期において、その変化が顕著に表れ、学習フェーズ中期から終期においてはその変化が小さいといった傾向が見られる。

4.3 芸術系領域におけるプログラミング教育の考察

4.2 節の解析結果を基に芸術系領域におけるプログラミング教育を考察する。

①の結果から、芸術作品の制作を中心とした芸術系の

学習においては、作品制作のための学習と、その知識・技術と学習者自身の発想を加えた制作活動が展開されている。そのため学習者が経験している学習環境においては、学習者自身の発想が付加されるために「学習内容に変化があり」、「その内容に飽きない」といった学習状況が展開されている。しかしながら、プログラミングといった今までとは異なる制作ツールを用いた学習環境で、それが容易に実現されなければ下位カテゴリーA3（変化性）を減少させると考えられる。

②の結果は、芸術系領域の学習者が芸術作品の制作を通して、その制作活動に習熟していく傾向と類似している。したがって、芸術系領域のプログラミング教育においては、数式表現図形のような芸術作品に関連したプログラミング教材を用いれば、R3（動機との一致）を向上させることができると考えられる。

③の結果から、芸術系領域の学習者にとっては、学習活動の主な目的が芸術作品の制作にあるため、創造的な発想を取り入れた学習が中心になっている。そのため、プログラミング教材による作品の制作において、その発想の適用方法が分からなければ下位カテゴリーC3（コントロールの個人化）を減少させると考えられる。

5. 3D バブルグラフによる視覚的な分析

5.1 3D バブルグラフの基本概念

前章では、ARCS アンケートの統計的な分析によってその傾向を解析した。このような数値データによる解析では、一つ因子の遷移要因を総合的に把握することが難しい。そこで、統計的分析で得られた結果を基にし、下位カテゴリーのスコアを3D バブルグラフに描画して視覚的に分析することで、下位カテゴリーの状態遷移を詳細に解析する手法を提案する。本提案手法では、ARCS モデルの各因子に属する3つの下位カテゴリーを3軸とした3D バブルグラフを描画して、各因子の遷移要因を解析する。3D バブルグラフの視覚的な解析における指標の一つとして、有意な相関が示された下位カテゴリーの2軸を基調とする平面を用いた。表6に各因子に属する下位カテゴリー間の相関行列を示す。表6中の網掛けのセルは、かなりの相関がある0.55以上¹⁸⁾の相関係数を表している。

本提案手法の基本概念を、学習フェーズの中期における“注意”因子を用いて図5に示す。本稿では、3D バブルグラフにおいて3つの下位カテゴリーの座標を示す球体を、バブルと呼ぶ。同一座標にバブルが重なる場合、バブルの大きさの比率は、重なりがないバブルを3.5とし、6つの重なりがあるバブルを10.0として段階

的に描画している。

図 5 では、X 軸が第 1 番目の下位カテゴリー、Y 軸が第 2 番目の下位カテゴリー、Z 軸が第 3 番目の下位カテゴリーに対応し、ARCS モデルの一つの学習フェーズにおける一つの因子に属する下位カテゴリーの状態を表している。したがって、重なりのない一つのバブルは、一人の学習者における一つの因子の状態を表している。図 5 における波線・太矢印は、統計的分析によって有意な差が生じた下位カテゴリーの遷移方向を表している。また、実線・直線矢印は下位カテゴリーのスコアの増加、点線・直線矢印がスコアの減少を表している。

次に、有意な相関が示された下位カテゴリーの 2 軸を基調とする平面は、点線の四角形で表されている。この平面を用いた理由を次に述べる。2 つの下位カテゴリー間に相関が生じれば、2 つの軸を基調とした平面においてバブルが一定の規則で分布することになる。しかしながら、他の軸方向への分散や収束が生じていれば、3D バブルグラフの視覚だけの解析ではバブルの分布が全体的に分散したように見える。そこで、3D バブルグラフにおけるバブルの遷移の全体像を視覚的な解析から総合的に捉え、この平面を用いてバブルの遷移を解析すれば詳細な分析が可能になると考えられる。

表 6 主要な因子に属する下位カテゴリーの相関行列

		注意: Attention			関連性: Relevance			自信: Confidence			満足感: Satisfaction		
		A1	A2	A3	R1	R2	R3	C1	C2	C3	R1	R2	R3
初期	注意	A1	1.00										
		A2	0.41	1.00									
		A3	0.21	0.10	1.00								
	関連性	R1	0.06	0.00	0.09	1.00							
		R2	0.06	0.26	0.08	0.14	1.00						
		R3	0.21	0.11	0.55	-0.14	-0.13	1.00					
	自信	C1	0.43	0.39	0.09	0.64	0.48	-0.03	1.00				
		C2	0.22	0.38	0.16	0.18	0.46	-0.17	0.38	1.00			
		C3	0.35	0.45	-0.09	0.50	0.54	-0.14	0.69	0.56	1.00		
	満足感	R1	0.02	0.24	-0.36	0.27	0.24	0.05	0.34	0.34	0.44	1.00	
		R2	0.21	0.35	0.01	0.22	0.60	-0.31	0.46	0.84	0.71	0.30	1.00
		R3	0.14	0.00	0.19	0.25	0.22	0.05	0.29	0.54	0.45	0.16	0.46
中期	注意	A1	1.00										
		A2	0.00	1.00									
		A3	0.34	0.56	1.00								
	関連性	R1	0.28	0.42	0.59	1.00							
		R2	0.51	0.26	0.31	0.53	1.00						
		R3	0.08	0.48	0.52	0.66	0.34	1.00					
	自信	C1	-0.05	0.37	0.29	0.77	0.31	0.71	1.00				
		C2	0.29	0.50	0.42	0.68	0.35	0.74	0.79	1.00			
		C3	0.11	0.61	0.57	0.48	0.25	0.78	0.62	0.83	1.00		
	満足感	R1	0.16	0.37	0.35	0.79	0.42	0.73	0.72	0.71	0.57	1.00	
		R2	-0.17	0.69	0.38	0.53	0.16	0.74	0.74	0.78	0.76	0.57	1.00
		R3	0.59	0.47	0.44	0.56	0.70	0.40	0.36	0.64	0.53	0.44	0.41
終期	注意	A1	1.00										
		A2	0.76	1.00									
		A3	0.76	0.88	1.00								
	関連性	R1	0.63	0.67	0.73	1.00							
		R2	0.46	0.54	0.37	0.24	1.00						
		R3	0.57	0.59	0.49	0.61	0.36	1.00					
	自信	C1	0.50	0.42	0.41	0.68	0.39	0.70	1.00				
		C2	0.64	0.62	0.76	0.57	0.49	0.59	0.50	1.00			
		C3	0.48	0.30	0.64	0.57	0.09	0.70	0.62	0.73	1.00		
	満足感	R1	0.49	0.39	0.28	0.42	0.38	0.73	0.73	0.46	0.57	1.00	
		R2	0.67	0.59	0.80	0.54	0.37	0.58	0.36	0.89	0.72	0.36	1.00
		R3	0.52	0.72	0.75	0.62	0.41	0.64	0.39	0.74	0.55	0.35	0.80

5.2 3D バブルグラフによる分析

図 6 に、それぞれの学習フェーズにおける 4 つの因子の遷移を示す。図 6 中の一つの行は一つの因子を表し、その行の 3 つの 3D バブルグラフは学習フェーズ初期、中期、終期における一つの因子の状態を示している。

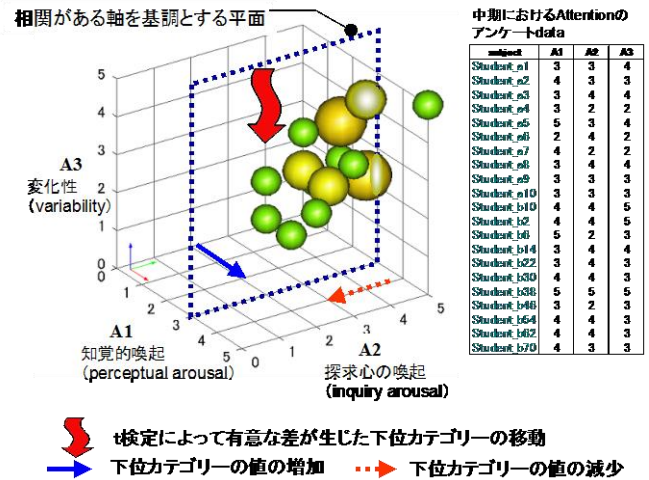


図 5 3D バブルグラフの基本概念

① “注意” 因子の遷移

学習フェーズ初期から中期の本因子において、下位カテゴリーA3（変化性）のスコアの遷移に有意な差が生じていた。図 6 の 1 行目の学習フェーズ中期に示された 3D バブルグラフでは、バブルが Z 軸のマイナス方向に移動してバブルの分布が分散しているように見える。学習フェーズ中期における下位カテゴリーの相関が、A2（探究心の喚起）と A3（変化性）に表れている。そこで、この 2 軸で構成される平面を用いれば、バブルがこの平面の対角線上に沿って遷移したことが分かる。これより学習フェーズ初期においては、A1（知覚的喚起）、A2（探究心の喚起）、A3（変化性）が共に、強い相関がないため、それぞれの下位カテゴリーが独立して分布し、バブルの分布形状が収束している。学習フェーズ中期では、A2（探究心の喚起）と A3（変化性）の下位カテゴリーに強い相関が生じ、この平面上でバブルの分布形状が分散している。そのため、この 2 つの下位カテゴリーの相関が、下位カテゴリーA3（変化性）のスコアを減少させたと考えられる。したがって学習フェーズの中期になれば、A2（探究心の喚起）と A3（変化性）の影響が学習者自身の個性になって表れたと考えられる。

② “関連性” 因子の遷移

学習フェーズ中期から終期の本因子においては、バブルが Z 軸のプラス方向へ移動するが、その分布形状に

変化が見られない。これは、学習フェーズ中期と終期における下位カテゴリーの相関が、R2（目的指向性）とR3（動機との一致）に表れている。この2つの学習フェーズにおいて同じ平面に沿ってバブルが分布しているため、分布形状の変化が生じなかったと考えられる。これより、“関連性”因子は、R2（目的指向性）とR3（動機との一致）に影響され、R1（親しみ易さ）の要因の影響が小さいと考えられる。したがって、学習フェーズ中期から終期においては、芸術的な作品制作とプログラミング学習への目的と動機が一致してくると考えられる。

③ “自信”因子の遷移

学習フェーズ初期から中期の本因子において、下位カテゴリーC3（コントロールの個人化）に有意な差が生じている。3Dバブルグラフにおいても、Z軸のマイナス方向にバブルが移動して分布形状が遷移している。そして、Y軸（C2：成功の機会）とZ軸（C3：コントロ

ールの個人化）の2軸を基調とした平面に沿って収束していたバブルが、3軸を基調とする3つの平面に沿ってバブルが広範囲に分散するようになる。これより、学習フェーズ中期における“自信”因子は、C1（学習要求）、C2（成功の機会）、C3（コントロールの個人化）の全ての下位カテゴリーの影響を受けながら、学習フェーズ中期で学習者自身の学習特性が顕著に表れると考えられる。

④ “満足感”因子の遷移

学習フェーズ初期から中期の本因子において、下位カテゴリーS3（公平さ）のスコアの遷移に有意な差が生じている。3Dバブルグラフでも、バブルがZ軸のプラス方向に移動してバブルの分布が分散しているように見える。学習フェーズ中期の下位カテゴリーにおける強い相関は、S1（自然の結果）とS2（肯定的な結果）に表れている。この2軸を基調とした平面から見れば、バブルがこの平面に沿って分散していることが分かる。

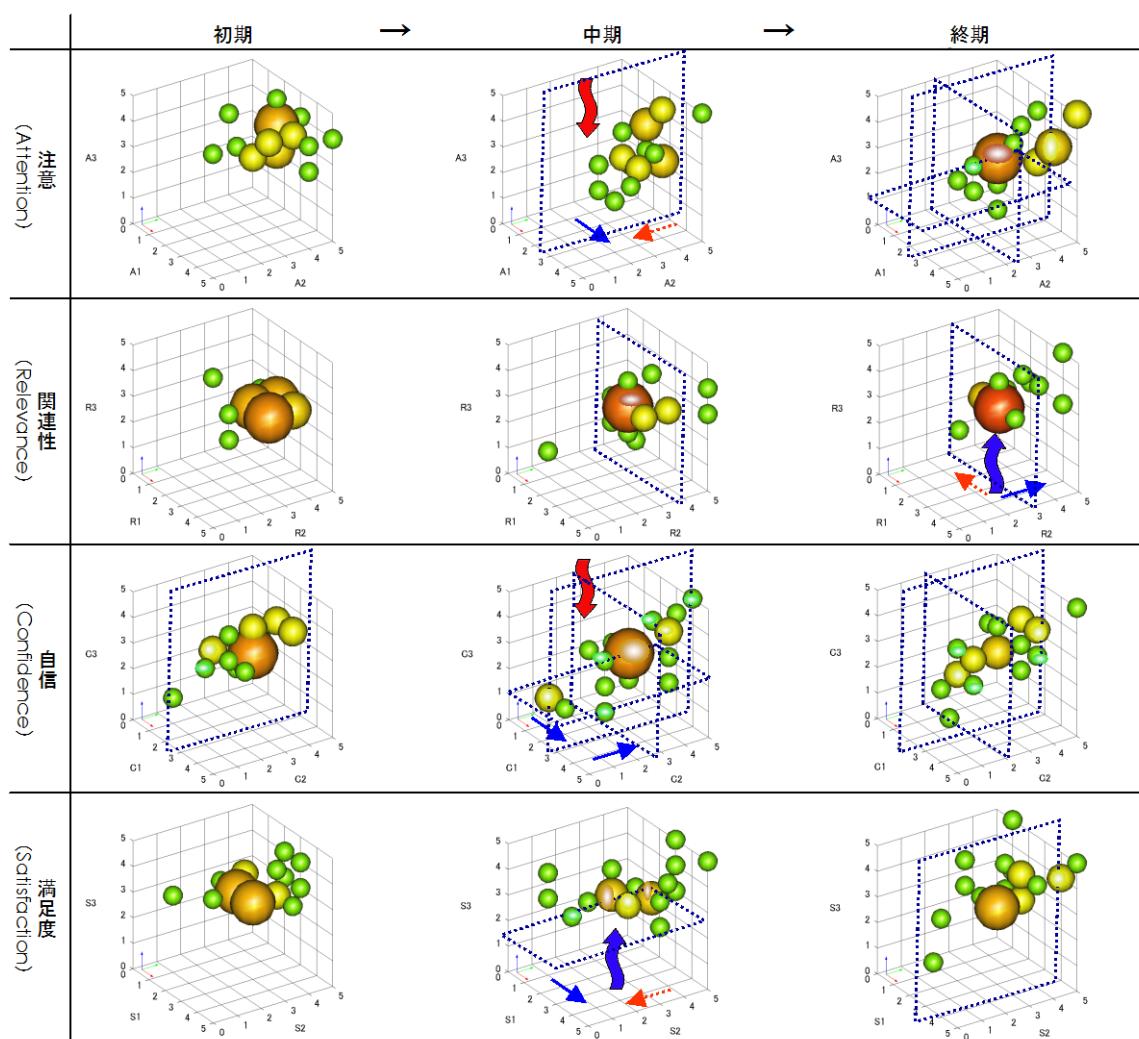


図6 学習フェーズにおける主要な因子の遷移

したがって、学習フェーズ中期では、学習者自身が習得した知識・技術を作品に適用し、その結果として制作された作品への充実感に、個人差が生じると考えられる。

7. まとめ

Processing プログラミング環境を用いて芸術系領域のプログラミング教育を実践し、ARCS モデルを背景理論としたアンケートによってそのモチベーションの変化を測定した。そして、今までの知識・技術を基にした創造的な制作活動が中心となっている芸術系領域の学習環境を考慮して、本領域のプログラミング教育における学習者のモチベーションを解析した。モチベーションの解析においては、ARCS モデルの一つの因子における3つの下位カテゴリーを3軸とした3Dバブルグラフに描画し、その遷移要因を視覚的に解析する一手法を提案した。本手法によって、数値データによる分析だけでは難しい、一因子における下位カテゴリー間の関係や学習フェーズの進行による遷移要因の総合的で詳細な把握に適用できる可能性があると考えられる。

本稿で示された授業の解析結果に対して、学習フェーズ初期から中期において、学習者自身の創造的な発想を取り入れることが可能なプログラミング教材や、その発想をプログラムに反映させるための支援や指導が必要であるといった対処をすることで授業の改善をすることができる。また、ARCS モデルのモチベーションの構成因子に直接に対応したアンケートを用いることで、本モデルの動機づけ設計方略を参照して、対処が必要なモチベーションの構成因子に対応した学習環境を改善できると考える。今後は、本研究で得られた解析結果を基に改善した教材と教授戦略を用いたプログラミング教育による学習効果の評価も計画している。なお、本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(C) 21500916 の支援によるものである。

参考文献

- 1) Processing 1.0 (BETA), <http://processing.org/>
- 2) Feldgen, M. and Clúa, O., "Games as a Motivation for Freshman Students to Learn Programming," Proceedings of the 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Session S1H., pp. 11-16 (2004)
- 3) Keller, J. M. and Suzuki, K., "Use of the ARCS Motivation Model in Courseware Design," In Jonnasen, D. H. (Ed.), Instructional Designs for Microcomputer Courseware, Lawrence Erlbaum Associates., pp. 401-434 (1987)
- 4) 土肥紳一・宮川治・今野紀子：SIEM アセスメント尺度に基づいた要因分析結果のフィードバックによるコンピュータ入門教育への効果, FIT2005, pp. 309-312 (2005)
- 5) Takemura, Y., Nagumo, H., Huang, K. and Matsumoto, K., "Analysis of the Relation between the Teaching Materials and Motivation in Programming Education," Proceedings of the 20th Conference on Software Engineering Education and Training, pp. 317-324 (2007)
- 6) Takemura, Y., Nagumo, H., Tsukamoto, H. and Huang, K., "Analyzing the Motivation of the Students in the Art Faculty for Learning Programming," Proceedings of the 7th International Conference on Advanced Learning, pp. 244-246 (2007)
- 7) Reas, C. and Fry, B., "Processing: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists," MIT Press, (2007)
- 8) Design By Numbers, <http://dbn.media.mit.edu/>
- 9) Maeda, J., "Design By Numbers," MIT Press (2001)
- 10) Andersen, P. B., Bennedsen, J., Brandorff, S., Caspersen, M. E. and Mosegaard, J., "Teaching Programming to Liberal Arts Students - A Narrative Media Approach," Proceedings of the 8th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE 2003), pp. 109-113 (2003)
- 11) 浦上昌則・脇田貴文：心理学・社会科学研究のための調査系論文の読み方, 東京図書, pp. 49-53 (2008)
- 12) 小塩真司：践形式で学ぶ SPSS と Amos による心理・調査データ解析, 東京図書, pp. 146-149 (2007)
- 13) Takemura, Y., Nagumo, H., Huang, K. and Matsumoto, K., "Analysis of the Relation between the Teaching Materials and Motivation in Programming Education," Proc. of The 20th Conference on Software Engineering Education & Training (CSEE&T2007), pp. 317-324 (2007)
- 14) Tsukamoto, H., Nagumo, H., Takemura, Y. and Matsumoto, K., "Analyzing the Transition of Learners' Motivation to Learn Programming," Proc. of The 38th Annual Frontiers in Education

- (FIE) Conference, pp. S4B6-S4B11 (2008)
- 15) Takemura, Y., Nagumo, H., Huang K. and Tsukamoto, H., “Assessing the Learners’ Motivation in the E-Learning Environments for Programming Education,” Springer Berlin / Heidelberg, Lecture Notes in Computer Science Series, ISSN 0302-9743, Vol. 4823, pp. 355-366 (2008)
- 16) 王文涌・池田満・李峰栄：プログラミング教育における動機づけ教授方法の提案と評価，日本教育工学会論文誌，Vol. 31, No. 3, pp. 349-357 (2007)
- 17) 応用統計ハンドブック編集委員会編，奥野忠一：応用統計ハンドブック，養賢堂，p.763 (1999)
- 18) 石村貞夫：すぐわかる統計解析，東京図書，pp.34-35 (2001)

Abstract

Programming education is considered to be important for the students in the art faculty, who perform the IT works that require artistic skills, to enrich their environments of creation and to carry out effective activities of creation. The motivation of the students is considered to be an important part of programming education in which active participation of students is crucial. In this research, we analyzed the transition of the motivation in the programming education using the ARCS motivation model in order to carry out effective programming education. Furthermore, we focused on the three sublevel categories of each factor of the ARCS model, and analyzed the transition and the factor of the transition of them. We have also proposed the method of analysis in which 3D bubble graphs were drawn in such a way that each axis corresponds to each of the three sublevel categories in a factor of the ARCS model. We consider that it will be possible to apply the proposed methods to grasp the relation among the sublevel categories of each factor and the cause of the transition of them as the learning progresses.

Keywords: programming education, Processing, ARCS motivation model, motivation, 3D bubble graphs